

## Solarização e Coletor Solar para Desinfestação de Solo

Raquel Ghini<sup>1</sup>

### Introdução

A agricultura sustentável busca o manejo adequado dos recursos naturais, ou seja, evitando a degradação do ambiente, para satisfazer às necessidades humanas, nos tempos presente e futuro. Um de seus objetivos é reduzir a utilização de produtos químicos, o que implica maior uso de processos alternativos nos sistemas agrícolas e menor uso de insumos, como pesticidas. Uma das dificuldades para a manutenção da sustentabilidade dos agroecossistemas é a ocorrência de doenças em plantas, já que muitas das práticas de controle dessas doenças podem colaborar para a degradação do ambiente.

As doenças em plantas causadas por patógenos veiculados pelo solo constituem um dos principais problemas para a maioria das culturas. Esses patógenos, compreendidos principalmente por diversas espécies de fungos, bactérias e nematoides, podem destruir as sementes ou outros órgãos de propagação da planta, e também podem causar o tombamento de plântulas, a murcha, em decorrência de danos no

sistema vascular, o apodrecimento e a destruição de raízes. Em consequência, pode ocorrer uma queda na quantidade e na qualidade da produção, que vai causar sérios prejuízos ao agricultor. Entre os principais gêneros de microrganismos causadores dessas doenças, estão: *Pythium*, *Rhizoctonia*, *Phytophthora*, *Fusarium*, *Verticillium*, *Sclerotium*, *Sclerotinia*, *Ralstonia*, *Agrobacterium* e *Meloidogyne*.

A importância dos danos econômicos causados por fitopatógenos que habitam o solo está associada aos problemas apresentados pelos métodos utilizados para seu controle. O controle preventivo é o mais recomendável, por evitar a entrada do patógeno na área, recorrendo-se, por exemplo, a certos procedimentos, como cuidados com a qualidade da água de irrigação, das sementes e das mudas, além de outros materiais que possam conter propágulos do microrganismo. A erradicação desses patógenos, depois de eles terem se introduzido no solo, torna-se, porém, muito difícil.

Na maior parte dos casos, as práticas culturais não são suficientes para um controle efetivo e nem

<sup>1</sup> Engenheira agrônoma, Doutora em Fitopatologia, pesquisadora da Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna SP. E-mail: raquel@cnpma.embrapa.br

sempre se dispõe de cultivares resistentes aos patógenos. A aplicação de vapor para a desinfestação de solo está restrita a pequenas áreas, em virtude do elevado custo do equipamento utilizado e do baixo rendimento de área tratada por dia. O controle químico nem sempre é indicado, também por conta do alto custo, da baixa eficiência e da possibilidade de contaminação do aplicador, do alimento produzido e do próprio ambiente. Um dos produtos mais utilizados para a fumigação de solos, o brometo de metila, foi proibido no Brasil a partir de janeiro de 2007, por causa dos danos causados por ele à camada de ozônio do planeta.

Diante das várias restrições ao uso desses métodos, a solarização do solo, método desenvolvido por Katan et al. (1976), vem sendo adotada em diversos países, como Israel, Estados Unidos, Japão e Itália. A técnica consiste na utilização da energia solar para a desinfestação do solo, por meio da cobertura do solo com um filme de plástico transparente. A solarização pode ser empregada tanto em condições de campo quanto de cultivo protegido. Por não ser um método químico, possui a vantagem de causar menor impacto ao ambiente e não deixar resíduos, além de ser de fácil aplicação.

Problemas semelhantes aos descritos também são encontrados no tratamento de substratos utilizados na produção de mudas em recipientes (sacos de plástico, bandejas, vasos e outros). Para esses casos, foi desenvolvido, por Ghini e Bettiol (1991), um coletor solar que, por meio da energia solar, promove a desinfestação dos substratos, com as mesmas vantagens do método de solarização.

## Solarização do solo

### Conceito

A solarização é um método de desinfestação do solo para o controle de fitopatógenos, plantas invasoras e pragas. Consiste na cobertura, com um filme de plástico transparente, do solo em pré-plantio, preferencialmente úmido, durante o período de maior radiação solar.

### Princípios e mecanismos

O processo de inativação térmica das estruturas de diversos patógenos segue, de modo geral, o modelo exponencial. Assim, quanto mais baixa for a temperatura, maior deverá ser o tempo de exposição, para ocorrer a inativação das estruturas do patógeno.

A cobertura do solo com um filme de plástico transparente promove, graças à energia solar, a elevação da temperatura do solo, em repetidos ciclos diários (Figura 1). Cumpre lembrar, porém, que, quanto maior for a profundidade no solo, mais baixas serão as temperaturas atingidas (Figura 2). Por esse motivo, o filme de plástico deve ser mantido por um período suficiente para que se produza a inativação das estruturas do patógeno localizadas nas camadas mais profundas do solo, onde são obtidas menores temperaturas.

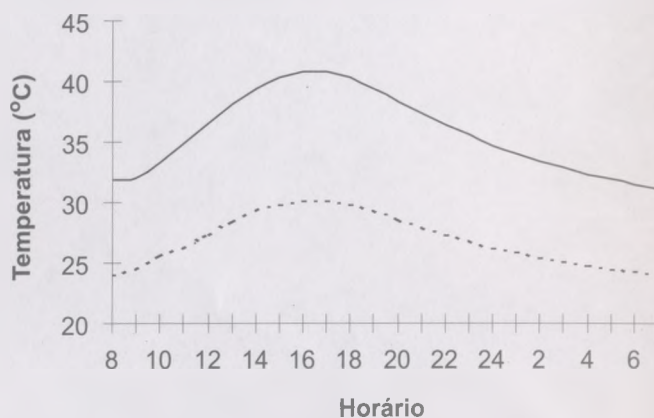


Fig. 1. Temperaturas médias do solo solarizado (—) e não solarizado (----), na profundidade de 10 cm, no mês de dezembro de 1992, em Jaguariúna, SP.

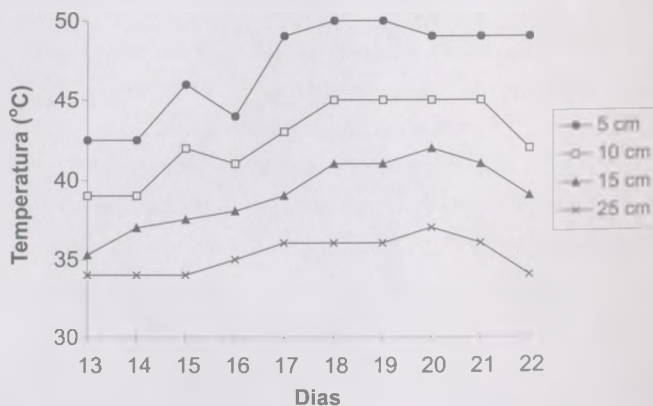


Figura 2. Temperatura do solo solarizado, em diferentes profundidades, em fevereiro de 1990, em Jaguariúna, SP.

Parte da população do patógeno morre por efeito direto do aquecimento, especialmente as estruturas localizadas na superfície do solo, onde as maiores temperaturas são atingidas. Nas camadas mais profundas, somente temperaturas subletais são obtidas.

Apesar de a exposição do patógeno ao calor ser um importante fator para o controle do patógeno, esse não é o único mecanismo envolvido no método.



Os processos microbianos induzidos pela solarização constituem o principal mecanismo de controle das doenças. O aquecimento atua sobre a microbiota do solo, alterando sua composição em favor de microrganismos mais termotolerantes. Esses processos microbianos têm importância, especialmente quando o calor acumulado não é suficiente para o controle do patógeno, como ocorre nas camadas mais profundas do solo ou em climas cujas temperaturas não são favoráveis à solarização. De modo geral, os microrganismos saprófitas, entre eles muitos antagonistas, são mais tolerantes ao calor e são mais competitivos do que os patógenos de plantas (Figura 3). A maior tolerância dos saprófitas é devida à própria evolução desses organismos, que os capacitou a sobreviver no solo, ao passo que os patógenos desenvolveram parte do seu ciclo de vida parasitando plantas. Em consequência, com o aquecimento promovido pela solarização, verifica-se a alteração da composição microbiana em favor de antagonistas, e criam-se condições desfavoráveis às atividades dos patógenos (GHINI; BETTIOL, 1995).

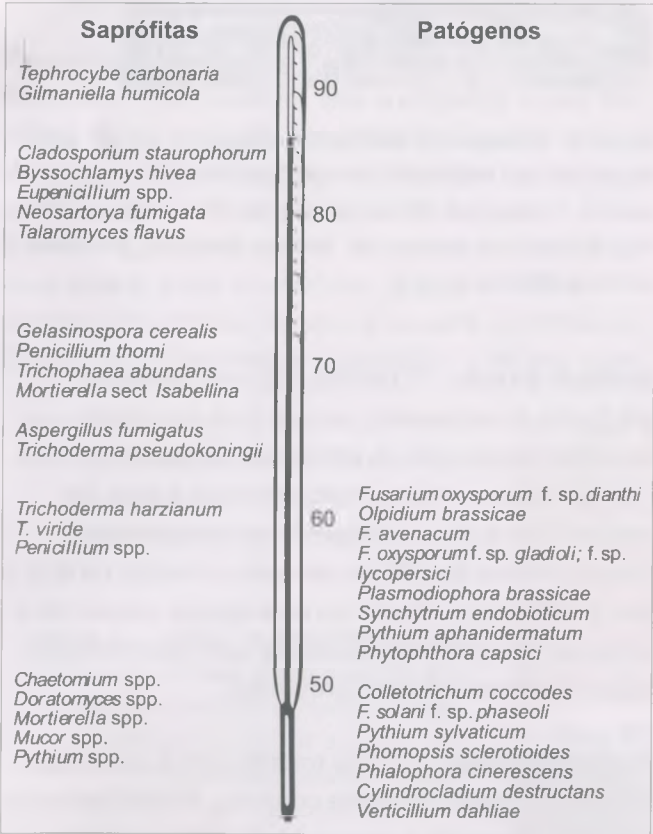


Figura 3. Temperaturas letais (°C) para espécies de fungos saprófitas e fitopatogênicos habitantes do solo, submetidos a 30 minutos de tratamento.

Fonte: adaptado de Baker e Roistacher (1957); Bollen (1969, 1985).

Os propágulos do patógeno, enfraquecidos pelas temperaturas subletais, dão condições e estimulam a atuação de antagonistas. Lifshitz et al. (1983) observaram que temperaturas subletais produzem rachaduras em escleródios (estruturas de resistência de alguns gêneros de fungos), permitindo a penetração e a colonização por microrganismos antagonistas, como diversas espécies de bactérias e estreptomicetos, que causam a redução da quantidade de inóculo no solo.

Como as temperaturas atingidas pelo solo durante a solarização são relativamente baixas, quando comparadas com o aquecimento artificial (por vapor), os seus efeitos sobre os componentes bióticos do solo são menos intensos. Quando o solo é submetido a altas temperaturas, ocorre a formação do chamado “vácuo biológico”, que são espaços estéreis. Durante a solarização, as temperaturas atingidas permitem a sobrevivência de grupos de microrganismos, isto é, não há formação de vácuo biológico.

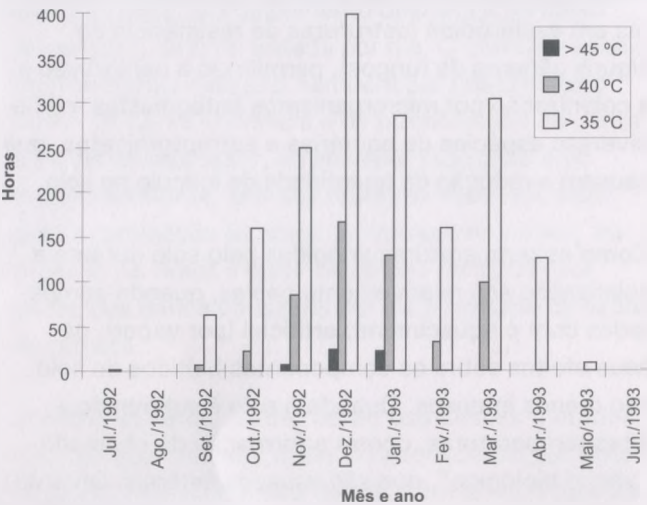
Como a microbiota do solo é alterada em favor de antagonistas, a reinfestação após a solarização se torna mais difícil do que num solo que tenha sofrido um tratamento esterilizante, a exemplo de quando se aplica vapor ou um biocida químico no solo, por fumigação. Por conta dessa dificuldade de reinfestação, o tratamento pode se estender por diversos ciclos da cultura, dependendo da adoção de outras medidas que também dificultem a introdução de propágulos do patógeno na área.

Além do controle físico promovido pela elevação da temperatura, e do controle biológico resultante da alteração na composição da microbiota do solo, a solarização atua sobre os compostos oriundos da decomposição dos microrganismos. A redução da incidência de doenças resulta, então, dos efeitos da solarização sobre os componentes bióticos envolvidos (hospedeiro, patógeno e microrganismos do solo), assim como sobre as características físicas e químicas do solo, que, por sua vez, afetam as atividades e as relações entre microrganismos (GHINI et al., 2003).

Características do tratamento

Época – Recomenda-se fazer o tratamento de solarização durante o período de maior intensidade de radiação solar. Em Jaguariúna, SP, um levantamento das temperaturas do solo solarizado mostrou que, para a região, o período mais favorável à solarização

está compreendido entre setembro e março, mas as maiores temperaturas do solo solarizado são atingidas nos meses de verão (Figura 4) (GHINI et al., 1994).



**Figura 4.** Horas acumuladas pelo solo solarizado, na profundidade de 10 cm, acima de 35 °C, 40 °C e 45 °C de temperatura, em Jaguariúna, SP.

Fonte: Ghini et al. (1994).

Um procedimento numérico simplificado foi desenvolvido por Tiba e Ghini (2006) para estimar as horas mensais acumuladas de temperaturas de solo solarizado e, assim, permitir a escolha adequada da época para a aplicação do tratamento. A modelagem proposta requer, como dados de entrada, as médias mensais de densidade de fluxo de radiação solar diária e temperatura máxima diária do ar, e também uma série temporal diária de variação de temperatura, admitida como senoidal.

**Colocação do plástico** – A instalação do filme de plástico em grandes áreas no campo pode ser feita por máquinas especialmente desenvolvidas para tal finalidade, ou manualmente, em áreas menores (Figura 5) ou



**Figura 5.** Colocação manual do plástico no campo.

Fonte: Raquel Ghini.

estufas. O terreno deve ser preparado da forma tradicional, isto é, por meio de uma aração e uma gradagem, e eliminando-se galhos e outros materiais pontiagudos, que possam perfurar o plástico. A fixação é feita enterrando-se as bordas do filme de plástico em sulcos no solo. A emenda de dois filmes deve ser feita enterrando-se as bordas de ambos num único sulco (Figura 6). O plástico deve ser colocado após uma chuva ou irrigação, e de forma que não se formem bolsas de ar sob ele e que cubra plenamente todos os espaços.

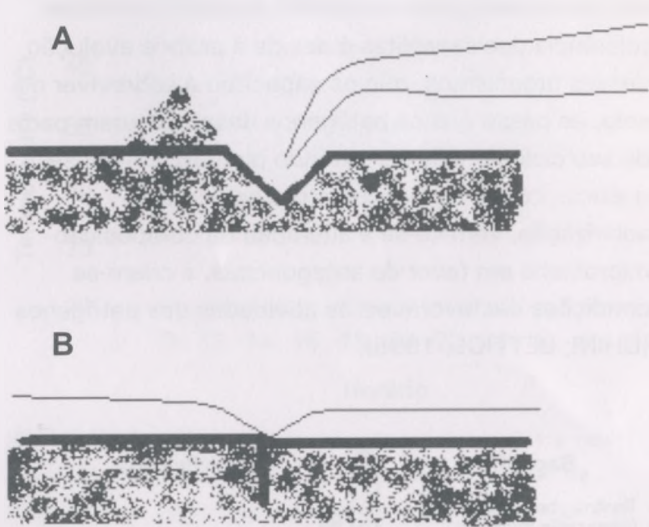


Ilustração: Raquel Ghini

**Figura 6.** Colocação do plástico no campo: (A) em um sulco aberto no solo preparado, são colocados dois filmes de plástico transparente; (B) as bordas dos filmes são enterradas, e o sulco é, em seguida, fechado com terra, fixando-se, assim, o plástico no solo.

**Umidade do solo** – A umidade do solo garante a eficiência do tratamento, porque é no solo úmido que ocorre a germinação de estruturas de resistência dos patógenos, tornando-as mais sensíveis à ação da temperatura e dos microrganismos antagonistas. Assim, o filme de plástico deve ser colocado na área a ser tratada após uma chuva ou irrigação, apesar de a umidade dificultar a condução do calor das camadas superficiais para as mais profundas.

**Tamanho da área** – A área tratada com a solarização deve ser a maior possível e contínua. A solarização do solo em faixas não é recomendada por causa da possibilidade de reinfestação do solo solarizado com o inóculo presente na faixa não tratada e também por causa do chamado “efeito de borda”. Esse efeito é causado pelas menores temperaturas atingidas pelo



solo nas bordas da área solarizada, em vista da perda de calor na área não coberta pelo plástico, resultando na sobrevivência de patógenos nesse local. Estima-se que, em uma faixa com aproximadamente 40 cm nas bordas, as temperaturas atingidas não são suficientes para manter um controle satisfatório. Mesmo para o tratamento de canteiros, sugere-se que a solarização seja realizada em área contínua e que os canteiros sejam construídos posteriormente.

**Tipo de plástico** – A principal característica do filme de plástico a ser utilizado é a transparência, que permite a passagem dos raios solares e promove, de forma eficiente, o efeito estufa e, assim, o maior aquecimento do solo. Os filmes pretos e de outras cores não são recomendados por não serem tão eficientes na elevação da temperatura do solo. A espessura do plástico e os aditivos devem ser escolhidos conforme as necessidades de durabilidade do material e da relação custo/benefício. Plásticos espessos, conquanto sejam mais caros do que os finos, podem ser reaproveitados. Plásticos de estufas, novos ou usados, podem ser utilizados para a solarização (BARROS et al., 2004).

**Permanência do plástico** – O tempo de tratamento deve ser o maior possível, isto é, enquanto o solo não estiver sendo cultivado, recomenda-se manter o filme de plástico. De modo geral, em condições de campo, o tempo necessário para o tratamento é de 1 a 2 meses, aproximadamente. Em condições de estufa, esse período pode ser reduzido, graças às maiores temperaturas obtidas na estufa fechada (LOPES et al., 2000). Após o período de solarização, o plástico deve

ser retirado do campo, podendo ser reaproveitado para nova solarização ou ser reciclado.

#### Associação com outros métodos de controle –

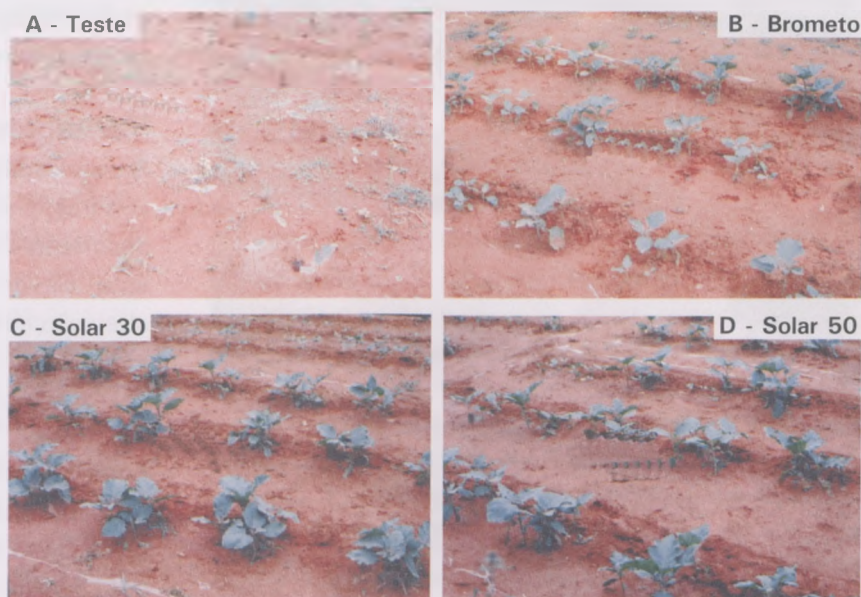
A integração com outros métodos de controle torna o controle mais efetivo. Em virtude do enfraquecimento das estruturas dos patógenos, durante a solarização, pode ocorrer um efeito sinérgico entre os diversos métodos adotados. Assim, a solarização pode ser associada a outros métodos, como a incorporação de matéria orgânica no solo, a aplicação de fungicidas em subdoses ou o controle biológico, por meio da incorporação de um ou mais antagonistas para colonizar o solo solarizado.

#### Efeitos da solarização

A seguir, é apresentada uma lista de patógenos controlados pela solarização, no Brasil: *Phytophthora capsici* (MARQUE et al., 2002), *Plasmodiophora brassicae* (LIMA et al., 1997), *Pythium* spp. (BETTIOL et al., 1994; LOPES et al., 2000; GHINI et al., 2002), *Rhizoctonia solani* (SINIGAGLIA et al., 2001; PATRÍCIO et al., 2006; PATRÍCIO et al., 2007), *Sclerotinia* spp. (SINIGAGLIA et al., 2001; FERRAZ et al., 2003; PATRÍCIO et al., 2006), *Sclerotium* spp. (NUNES, 1992; GHINI et al., 1997), *Verticillium* spp. (GHINI et al., 1992a; GHINI et al., 1993; BUENO et al., 2000) (Figura 7), bactérias (PATRÍCIO et al., 2005; BAPTISTA et al., 2006a, 2007) e nematoides (SOUZA, 1994; BETTIOL et al., 1996; RICCI et al., 2000; BAPTISTA et al., 2006b). Os melhores resultados têm sido obtidos por meio da combinação da solarização com outros métodos de controle, como adição de fontes de matéria orgânica.

**Figura 7.** Controle de *Verticillium dahliae* em berinjela: (A) sem tratamento; (B) solo tratado com brometo de metila; (C) solo solarizado durante 30 dias; (D) solo solarizado durante 50 dias.

Fonte: Ghini et al. (1992).



Outros autores não obtiveram, porém, o sucesso esperado. Marengo e Lustosa (2000) não observaram o controle de *Meloidogyne* em cenoura no Maranhão, apesar de ter ocorrido o controle do mato. Dias (1997) também não obteve sucesso com o uso da solarização para o controle da morte-prematura-do-maracujazeiro, causada por *Fusarium*, em razão da alta infestação do solo e da resistência do patógeno a altas temperaturas.

A redução de incidência de doenças pode durar vários ciclos da cultura, dispensando, assim, a repetição do tratamento de solarização. O efeito prolongado é resultado da pronunciada redução da quantidade de inóculo, associada a uma mudança no equilíbrio biológico do solo, em favor de antagonistas, resultando no retardo da reinfestação.

A solarização tanto atua no controle de patógenos quanto no de diversas plantas invasoras (BETTIOL et al., 1994; GHINI et al., 1993; MARENCO et al., 2000; RICCI et al., 2000; SINIGAGLIA et al., 2001; BAPTISTA et al., 2006b). Com efeito, em muitas hortas comerciais, a solarização é utilizada especificamente para o controle de plantas daninhas, tendo, como um dos principais benefícios, a redução da mão de obra. Se o agricultor tiver dificuldades para monitorar a temperatura do solo ou a população do patógeno durante a solarização, a reação das plantas invasoras é, a propósito, um excelente indicador de avaliação da eficiência da solarização (Figura 8).



**Figura 8.** Controle de plantas invasoras pela solarização, em Jaguariúna, SP. O plástico aplicado no solo por um mês não permitiu o desenvolvimento de plantas invasoras na área, enquanto, nas parcelas vizinhas, as plantas invasoras apresentaram intenso crescimento.

A solarização do solo também ajuda a diminuir o uso de herbicidas, principalmente porque reduz as comunidades de microrganismos decompositores de tais produtos, aumentando, conseqüentemente, a eficiência e a persistência do herbicida no solo. Em certos casos, pode ocorrer até fitotoxicidade na cultura, mesmo respeitando-se a aplicação da dose recomendada para o produto.

Nos solos solarizados, são observados maior crescimento de plantas e maior produtividade (Figura 7). Esse efeito, que pode ocorrer mesmo na ausência de patógenos, deve-se a diversos processos desenvolvidos durante a solarização, que consistem em mudanças nos componentes bióticos e abióticos do solo. O maior crescimento é resultado do controle de pragas ou patógenos primários e/ou secundários, da alteração da comunidade microbiana do solo em favor de antagonistas ou microrganismos promotores de crescimento, da inativação térmica de plantas invasoras e da liberação de nutrientes no solo, como o nitrogênio, nas formas de amônia e nitrato, cálcio e magnésio, em razão da morte e da decomposição de parte da microbiota. Esses mecanismos, entre outros – como mudanças na composição gasosa do solo, liberação de substâncias voláteis, melhoria da estrutura do solo e penetração profunda da umidade –, constituem um processo integrado que altera o ambiente do solo, resultando em maior crescimento de plantas (KATAN; DEVAY, 1991). Quanto às propriedades físicas, verificou-se que a solarização reduziu a resistência à penetração dos solos em diversas regiões do Estado de São Paulo, por longos períodos, quando comparado com o solo não solarizado (GHINI et al., 2003), isto é, facilitou o desenvolvimento de raízes, tornando o solo mais adequado ao cultivo.

**Vantagens e desvantagens**

A solarização tem-se mostrado viável para diversas culturas, principalmente por apresentar vantagens decorrentes de não ser um método químico. A energia solar, elevando a temperatura do solo, promove uma alteração na composição da microbiota, sem eliminá-la totalmente, dificultando, assim, a reinfestação por patógenos. Além disso, é de fácil e simples aplicação.

Entre as desvantagens apresentadas, pode-se citar: a) necessidade de uso de máquinas para aplicar o plástico em áreas extensas; b) não utilização do solo para cultivo durante o tratamento; c) limitações



climáticas; e d) custo elevado e, assim, inacessível para algumas culturas menos rentáveis.

## Coletor solar

### Introdução

O preparo de substratos é fundamental para a obtenção de mudas de qualidade. Além de apresentar características físicas e nutricionais adequadas, é necessário que o substrato esteja isento de microrganismos fitopatogênicos. A produção de mudas saudáveis, especialmente isentas de patógenos veiculados pelo solo, constitui um dos mais importantes métodos preventivos de controle de doenças de plantas. O uso de mudas infectadas na exploração de uma cultura favorece a instalação de doenças desde a fase inicial, afetando diretamente a produção, em decorrência da morte precoce das plantas contaminadas. A situação agrava-se com a disseminação de patógenos pelas mudas contaminadas para áreas ainda não infestadas, do que poderão advir sérios prejuízos, principalmente se for considerado que os métodos de controle de patógenos, além de serem poucos, apresentam muitas desvantagens.

O brometo de metila foi um dos produtos mais utilizados para a desinfestação de substratos para a produção de mudas. Uma das principais desvantagens do produto é a eliminação de todos os organismos do solo, inclusive dos benéficos, criando “vácuos biológicos”, que são espaços sem vida e que permitem a livre multiplicação do patógeno após uma reinfestação. A demanda por métodos não químicos para o processo de produção agrícola tem aumentado por conta de uma forte pressão social em favor da preservação da natureza, de produtos agrícolas sem resíduos e sem riscos para os operadores no campo.

Um equipamento denominado coletor solar foi desenvolvido pelo Instituto Agronômico de Campinas (Divisão de Engenharia Agrícola) e pela Embrapa Meio Ambiente para desinfestar substratos utilizados em recipientes em viveiros de plantas, com o uso da energia solar, sem causar danos ao ambiente. O primeiro equipamento, denominado coletor solar plano, foi desenvolvido por Armond et al. (1990). É constituído de canaletas de chapa de alumínio, no qual se coloca o solo (GHINI et al., 1992b). Posteriormente, Ghini e Bettiol (1991) substituíram as canaletas por tubos, com a finalidade de facilitar a carga e a descarga de substratos (Figura 9). Já faz vários anos

que o coletor vem sendo utilizado, com bons resultados, por viveiristas e agricultores, motivados pelas diversas vantagens que ele apresenta em comparação com outros métodos de desinfestação de substratos.



Foto: Raquel Ghini

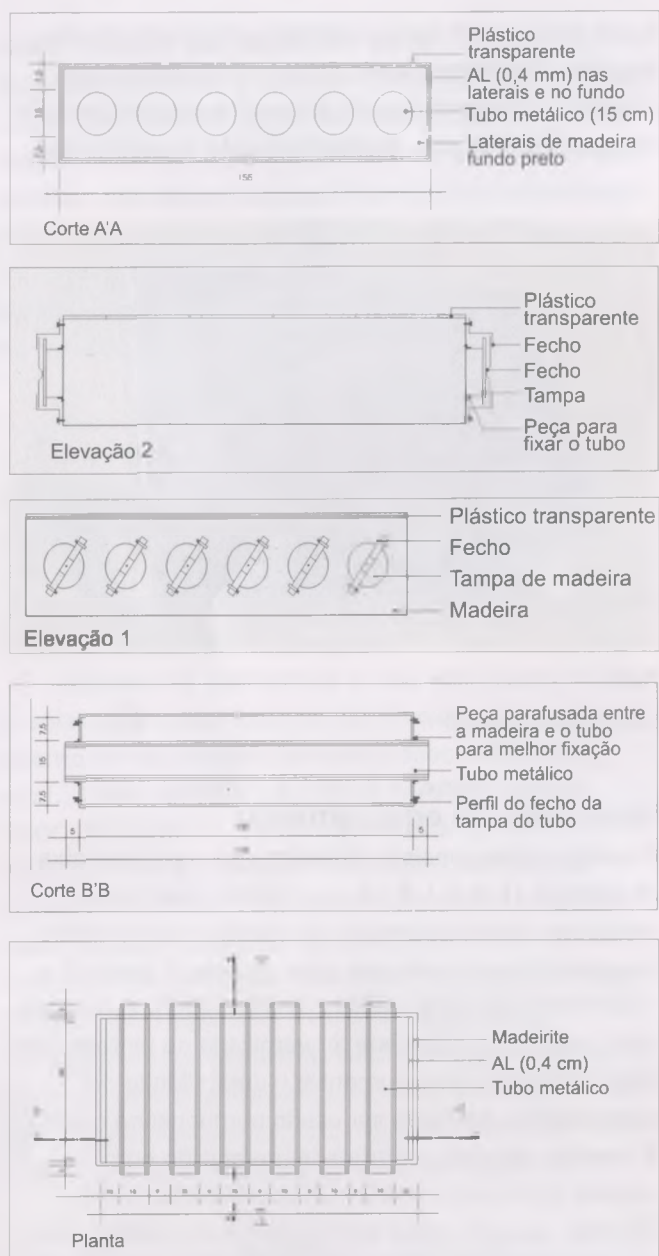
**Figura 9.** Coletor solar para a desinfestação de substratos.

Fonte: Ghini e Bettiol (1991).

### Descrição do equipamento

O coletor solar consiste, basicamente, de uma caixa de madeira (1 m x 1,5 m) que contém seis tubos metálicos, e uma cobertura de plástico transparente, que permite a entrada dos raios solares (Figuras 9 e 10) (GHINI; BETTIOL, 1991; GHINI, 1997). A madeira deve ser de boa qualidade, envernizada ou pintada com tinta apropriada para aumentar a durabilidade do equipamento, podendo ser usado compensado naval. A madeira deve ser certificada, de acordo com normas técnicas de manejo florestal sustentável. O fundo da caixa deve ser de madeira ou compensado, e com uma chapa metálica (de alumínio ou chapa galvanizada) pintada de cor preto-fosca. A colocação de isolantes térmicos (isopor, lã de vidro) no fundo do coletor (entre a chapa de alumínio e a madeira) auxilia a reter o calor no interior da caixa, porém é dispensável. Quanto menor for a perda de calor, mais eficiente será o tratamento.

Os tubos, com 15 cm de diâmetro, são de metal, costumando ser de ferro galvanizado (calhas de residências) ou de alumínio (tubos de irrigação, por exemplo). Devem ser pintados externamente com tinta de cor preto-fosca. Não é recomendada a pintura do interior dos tubos, para evitar que, durante o tratamento, sejam liberados compostos tóxicos no substrato. Não podem ser utilizados tubos de PVC ou de outros materiais não metálicos, pois as temperaturas naturalmente atingidas não são suficientes para



**Figura 10.** Projeto para construção do coletor solar (dimensões em cm). AL = chapa de alumínio.

Fonte: Ghini e Bettiol (1991).

garantir um controle adequado. O plástico localizado na parte superior da caixa deve ser transparente e preferencialmente espesso, e fixado nas laterais da caixa para evitar a entrada de água de chuva.

O solo é colocado dentro dos tubos pela abertura superior e, após o tratamento, é retirado pela abertura inferior, por meio da força da gravidade. Os coletores são instalados com exposição na face norte e um ângulo de inclinação semelhante à latitude local, acrescida de 10°. Por exemplo, Jaguariúna, SP, está localizada na latitude de 23°; assim, a caixa deve ser instalada com ângulo de 33° de inclinação. Para se

obter esse ângulo de inclinação, o cavalete que suporta o coletor deve ter pés dianteiros com altura de 36 cm e pés traseiros com 90 cm, sendo eles espaçados em 84 cm.

Cada coletor tem capacidade para tratar 120 L de substrato por dia de radiação plena. As dimensões não devem ser alteradas, pois podem prejudicar a eficiência do equipamento. Para o tratamento de maiores volumes, recomenda-se a construção de mais coletores, pois o aumento do diâmetro dos tubos reduz sua eficiência. Qualquer tipo de substrato pode ser tratado, isto é, qualquer mistura de solo e variados materiais. Entretanto, é preciso lembrar que substratos com altos teores de umidade não atingem elevadas temperaturas.

Os coletores são carregados no período da manhã, permanecem expostos ao sol durante um dia de radiação plena, são descarregados no dia seguinte e podem ser novamente carregados. Assim, os coletores podem ser recarregados diariamente e o substrato tratado pode ser imediatamente utilizado. A operação de carregamento é facilitada com o auxílio de um funil (Figura 11). O substrato tratado pode ser recolhido em



**Figura 11.** Colocação do substrato no coletor solar com o auxílio de um funil.



“padiolas” (Figura 12). O coletor solar pode ser usado durante o ano todo, exceto em dias de chuva. Em dias nublados ou chuvosos, o equipamento não funciona por conta da baixa radiação solar. O substrato pode permanecer no coletor até que ocorra um dia inteiro de radiação plena. Nessa situação, sugere-se tratar o substrato com antecedência e armazená-lo em local limpo, sem perigo de contaminação, para ser utilizado em dias propícios.

O coletor pode ser construído com sucata, o que reduz o custo. Bastam cuidados mínimos de manutenção para que o equipamento dure muitos anos.



Figura 12. Padiola, sob o coletor solar, para auxiliar a retirar o substrato.

## Principais resultados

Alguns patógenos habitantes do solo, como fungos, bactérias e nematóides, podem ser inativados no coletor, em algumas horas de tratamento, em razão das altas temperaturas atingidas (Figura 13). Recomenda-se, porém, o tratamento por 1 ou 2 dias de radiação plena, para se obter maior segurança quanto à eficiência do tratamento (GHINI, 1993). O coletor mostrou-se extremamente eficiente no controle de fungos fitopatogênicos do solo. Sob altas radiações solares (mais que 1 cal/cm<sup>2</sup>/min), um dia de tratamento no coletor solar foi suficiente para erradicar *Fusarium solani* f. sp. *phaseoli*, *Sclerotinia sclerotiorum*, *Sclerotium rolfsii* e *Pythium aphanidermatum* do substrato (GHINI, 1993).

O controle de *Phytophthora* foi verificado por Ghini et al. (2000) e May-de Mio et al. (2002). O coletor foi comparado à exposição do substrato dentro de sacos

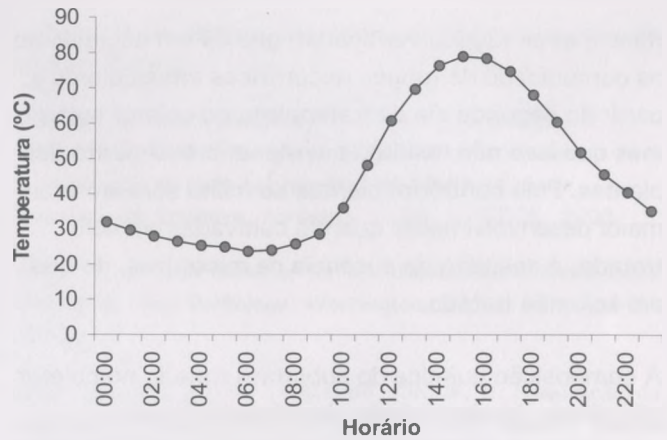


Figura 13. Temperaturas médias do substrato dentro de um coletor solar, durante um dia de radiação plena.

de plástico transparente (20 cm x 25 cm x 4 cm), contendo 2 L de substrato por saco, nos períodos de verão e inverno. Em sacos de plástico, a *Phytophthora* foi controlada no período do verão, após exposição por 24 e 48 horas, mas não houve controle no teste realizado no inverno. O coletor controlou o patógeno nos dois períodos e promoveu um maior desenvolvimento de plântulas de citros.

Para o controle de nematóides, Ghini et al. (1998) verificaram que tanto machos quanto juvenis de *Meloidogyne arenaria* foram erradicados de pedaços de raízes infestadas de tomateiro, após tratamento por um dia no coletor. O resultado comprova a eficácia do método de tratamento térmico, pois houve controle do nematoide, mesmo estando ele abrigado nas raízes da planta hospedeira. Para o controle de bactérias, Ghini et al. (2007) verificaram que *Ralstonia solanacearum* também foi controlada por um dia de radiação plena.

Apesar de as temperaturas obtidas pelo substrato no coletor solar serem superiores às atingidas durante a solarização, o coletor também tem a vantagem de não eliminar completamente a comunidade microbiana do solo. Mesmo após 7 dias de tratamento, o solo apresentou uma comunidade residual de fungos, bactérias e actinomicetos benéficos (GHINI, 1993). Por permitir a sobrevivência de microrganismos termotolerantes, o substrato tratado no coletor apresenta menor reinfestação por patógenos habitantes do solo, sendo essa mais uma das vantagens auferidas pelo equipamento, o que não ocorre no tratamento com brometo de metila, que esteriliza o solo, criando um vácuo biológico.

Randig et al. (2002) verificaram que há um decréscimo na comunidade de fungos micorrízicos arbusculares a partir do segundo dia de tratamento no coletor solar, mas que isso não resultou em menor crescimento das plantas. Pelo contrário, plantas de milho apresentaram maior desenvolvimento quando cultivadas em solo tratado, a despeito da ausência de micorrizas, do que em solo não tratado.

A composição química do substrato tratado no coletor não diferiu do não tratado, demonstrando que as propriedades químicas não são alteradas pelas temperaturas atingidas. O coletor solar substituiu integralmente o uso do brometo de metila e outros produtos químicos, no controle de patógenos, sem precisar recorrer a tratamentos complementares.

### Exemplo de utilização

O Núcleo de Produção de Mudas da Coordenadoria de Assistência Técnica Integral (Cati), vinculada à Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo, situado em São Bento do Sapucaí, SP, é um exemplo de viveiro que adotou a técnica para tratamento em larga escala de substrato para a produção de mudas de frutíferas (Figura 14). Nesse viveiro, os primeiros solarizadores, como são denominados os coletores no local, foram construídos em 1994, e, desde 1998, o método de utilização de brometo de metila foi totalmente eliminado e substituído pelo do coletor. Sob o aspecto fitossanitário, as mudas produzidas em substrato tratado pelo novo sistema têm apresentado a mesma qualidade, mas mostrando melhor desenvolvimento.

Uma avaliação econômica do uso dos coletores foi realizada com base nos dados coletados no Núcleo de

Produção de Mudas da Cati (GHINI et al., 2000). Nesse viveiro, o volume de substrato tratado era de aproximadamente 500 m<sup>3</sup>/ano. Os custos por ano foram semelhantes para ambos: para o tratamento com brometo de metila e para o tratamento com coletores. O trabalho mostrou que o tratamento com coletor é viável economicamente para viveiros comerciais, mesmo não tendo sido avaliadas outras vantagens, como menores riscos à saúde do trabalhador, garantia de qualidade ambiental e ausência de resíduos.

Algumas alterações foram realizadas no modelo original. Os coletores são giratórios, facilitando as operações de carga e descarga. As caixas são construídas com compensado naval (1,4 m x 1,2 m x 0,25 m) e contêm sete tubos galvanizados ou de alumínio, com 12,5 cm de diâmetro. No período da noite, os coletores são cobertos com lonas, para evitar danos causados pelo orvalho.

### Vantagens e desvantagens

O coletor, comparado com os equipamentos de sistemas tradicionais de desinfestação, apresenta diversas vantagens, principalmente por não empregar produtos químicos. Com efeito, ele não apresenta riscos para o operador, não libera resíduos e não contamina o ambiente. O substrato tratado nos coletores pode ser prontamente utilizado, o que não se verifica com o uso do brometo. Quando se aplica brometo, o substrato precisa ser aerado para, assim, serem eliminados os resíduos do produto, resíduos estes que podem ser tóxicos, tanto para a planta quanto para o aplicador.

Além disso, o uso do coletor permite a sobrevivência de microrganismos termotolerantes benéficos, que impedem a reinfestação pelo patógeno, o que não ocorre nos tratamentos com brometo de metila e autoclaves, os quais esterilizam o solo, criando um vácuo biológico. O coletor solar não consome energia elétrica ou lenha, é de fácil construção e manutenção e tem baixo custo.

O coletor apresenta, porém, as seguintes restrições de uso: não pode ser usado em dias chuvosos; necessita de mais mão de obra que quando se faz tratamento com brometo de metila; e requer manutenção, ainda que simples, para garantir a sua durabilidade. De qualquer forma, as vantagens apresentadas compensam seu uso, principalmente em termos financeiros.



**Figura 14.** Coletores do Núcleo de Produção de Mudas da Cati, situado em São Bento do Sapucaí, SP.



## Referências

- ARMOND, G.; BRAGA, C. A. S.; BETTIOL, W.; GHINI, R. Coletor solar plano para tratamento térmico do solo. **O Agrônomo**, Campinas, v. 42, p. 185-189, 1990.
- BAKER, K. F.; ROISTACHER, C. N. Heat treatment of soil. In: BAKER, K. F. (Ed.) **The U.C. system for producing healthy container grown plants**. Berkeley: California Agriculture Experiment Station Extension Service, 1957. p. 123-137.
- BAPTISTA, M. J.; LOPES, C. A.; SOUZA, R. B.; FURUMOTO, O. Efeito da solarização e biofumigação, durante o outono, na incidência de murcha-bacteriana e produtividade da batata. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v. 24, p. 99-102, 2006a.
- BAPTISTA, M. J.; REIS JUNIOR, F. B.; XAVIER, G. R. Eficiência da solarização e biofumigação do solo no controle da murcha-bacteriana do tomateiro no campo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 42, p. 933-938, 2007.
- BAPTISTA, M. J.; SOUZA, R. B.; PEREIRA, W.; CARRIJO, O. A.; VIDAL, M. C.; CHARCHAR, J. M. Solarização do solo e biofumigação no cultivo protegido de tomate. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v. 24, p. 47-52, 2006b.
- BARROS, B. C.; PATRÍCIO, F. R. A.; LOPES, M. E. B. M.; FREITAS, S. S.; SINIGAGLIA, C.; MALAVOLTA, V. M. A.; TESSARIOLI NETO, J.; GHINI, R. Solarização do solo com filmes plásticos com e sem aditivo estabilizador de luz ultravioleta. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v. 22, n. 2, p. 253-259, 2004.
- BETTIOL, W.; GHINI, R.; CUNHA, M. I. B. da; TRATCH, R.; GALVÃO, J. A. H. Solarização do solo para o controle do nematóide das galhas em quiabeiro. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v.14, n. 2, p.158-160, 1996.
- BETTIOL, W.; GHINI, R.; GALVÃO, J. A. H.; ZOCCHI, S. S. Solarização do solo para o controle de *Pythium* e plantas daninhas em crisântemo. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 51, n. 3, p. 459-462, 1994.
- BOLLEN, G. J. De invloed van het stomen op biologische eigenschappen van de grond. **Tuinbouwmededelingen**, Stanton, v. 32, n. 12, p. 475-480, 1969.
- BOLLEN, G. J. Lethal temperatures of soil fungi. In: PARKER, C. A.; ROVIRA, A. D.; MOORE, K. J.; WONG, P. T. W. **Ecology and management of soilborne plant pathogens**. St. Paul: Academic, 1985. p. 191-193.
- BUENO, C. J.; MASUDA, Y.; AZEVEDO, F. A.; AGUILLERA, M. M.; SOUZA, N. L. Efeito direto e residual da solarização do solo no controle de *Verticillium dahliae* e de plantas infestantes na cultura da berinjela (*Solanum melongena*), em campo naturalmente infestado. **Summa Phytopathologica**, Jaboticabal, v. 26, p. 445-450, 2000.
- DIAS, M. S. C. Efeito da solarização no controle da morte prematura de maracujazeiros. 1997. 126 f. Tese (Doutorado)
- Faculdade de Ciências Agrônômicas do Campus de Botucatu, UNESP, Botucatu.
- FERRAZ, L. C. L.; BERGAMIN FILHO, A.; AMORIM, L.; NASSER, L. C. B. Viabilidade de *Sclerotinia sclerotiorum* após a solarização do solo na presença de cobertura morta. **Fitopatologia Brasileira**, Fortaleza, v. 28, p. 17-26, 2003.
- GHINI, R. A solar collector for soil disinfection. **Netherlands Journal of Plant Pathology**, Washington, DC, v. 99, p. 45-50, 1993.
- GHINI, R.; BETTIOL, W.; CALDARI JÚNIOR, P. Solarização do solo para o controle de *Sclerotium rolfsii* em feijoeiro. **Summa Phytopathologica**, Jaboticabal, v. 23, n. 2, p. 143-145, 1997.
- GHINI, R.; INOMOTO, M. M.; SAITO, E. S. Coletor solar no controle de *Meloidogyne arenaria* em substratos para produção de mudas. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, DF, v. 23, n. 1, p. 65-67, 1998.
- GHINI, R.; MARQUES, J. F.; TOKUNAGA, T.; BUENO, S. C. S. Controle de *Phytophthora* sp. e avaliação econômica do coletor solar para desinfestação de substratos. **Fitopatologia Venezolana**, Maracay, v. 13, p. 11-14, 2000.
- GHINI, R.; BETTIOL, W. Coletor solar para desinfestação de substratos. **Summa Phytopathologica**, Jaguariúna, v. 17, p. 281-286, 1991.
- GHINI, R.; BETTIOL, W. Controle físico. In: BERGAMIN FILHO, A.; KIMATI, H.; AMORIM, A. **Manual de fitopatologia**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1995. v. 1, p. 786-803.
- GHINI, R.; BETTIOL, W.; ARMOND, G.; BRAGA, C. A. S.; INOMOTO, M. M. Desinfestação de substratos com utilização de coletor solar. **Bragantia**, Campinas, v. 51, n. 1, p. 85-93, 1992b.
- GHINI, R.; BETTIOL, W.; SOUZA, N. L. de. Solarização do solo para o controle de *Verticillium dahliae* em berinjela. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, DF, v. 17, n. 4, p. 384-388, 1992a.
- GHINI, R.; BETTIOL, W.; SPADOTTO, C. A.; MORAES, G. J. de; PARAIBA, L. C.; MINEIRO, J. L. de C. Soil solarization for the control of tomato and eggplant *Verticillium* wilt and its effect on weed and micro-arthropod communities. **Summa Phytopathologica**, Jaguariúna, v. 19, n. 3/4, p. 183-189, 1993.
- GHINI, R.; PARAIBA, L. C.; LIMA, M.W. P. de. Determinação de período para solarização do solo na região de Campinas/SP. **Summa Phytopathologica**, Jaguariúna, Piracicaba, v. 20, n. 2, p.131-133, 1994.
- GHINI, R.; PATRICIO, F. R. A.; SOUZA, M. D. de; SINIGAGLIA, C.; BARROS, B. C.; LOPES, M. E. B. M.; TESSARIOLI NETO, J.; CANTARELLA, H. Efeito da solarização do solo sobre propriedades físicas, químicas e biológicas de solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 27, p. 71-79, 2003.

GHINI, R.; PATRÍCIO, F. R. A.; ALMEIDA, I. M. G. Control of *Ralstonia solanacearum* in tomato potting medium by the use of a solar collector. **Australasian Plant Disease Notes**, Toowoomba, v. 2, p. 77-78, 2007.

GHINI, R.; SCHOENMAKER, I. A. S.; BETTIOL, W. Solarização do solo e incorporação de fontes de matéria orgânica no controle de *Pythium* spp. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 37, n. 9, p. 1253-1261, 2002.

KATAN, J.; DEVAY, J. E. **Soil solarization**. Boca Raton: CRC Press, 1991. 267 p.

KATAN, J.; GREENBERGER, A.; ALON, H.; GRINSTEIN, A. Solar heating by polyethylene mulching for the control of diseases caused by soil-borne pathogens. **Phytopathology**, St. Paul, v. 66, p. 683-688, 1976.

LIFSHITZ, R.; TABACHNIK, M.; KATAN, J.; CHET, I. The effect of sublethal heating on sclerotia of *Sclerotium rolfsii*. **Canadian Journal of Microbiology**, Ottawa, CA, v. 29, n. 12, p. 1607-1610, 1983.

LIMA, M. L. R. Z. C.; MAY, L. L.; LOLIS, R. Controle físico e biológico da hêmia das crucíferas (*Plasmodiophora brassicae* Woron) na região metropolitana de Curitiba – PR. **Revista do Setor de Ciências Agrárias**, Curitiba, v. 16, p. 83-87, 1997.

LOPES, M. E. B. M.; GHINI, R.; TESSARIOLI, J.; PATRICIO, F. R. A. Solarização do solo para o controle de *Pythium* na cultura do pepino em cultivo protegido. **Summa Phytopathologica**, Jaboticabal, v. 26, n. 2, p. 224-227, 2000.

MARENCO, R. A.; LUSTOSA, D. C. Solarização do solo para o controle de plantas daninhas na cultura de cenoura. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 35, p. 2025-2032, 2000.

MARQUE, J. M.; SOUZA, N. L.; CUTOLO FILHO, A. A. Efeito da solarização do solo na sobrevivência de *Phytophthora capsici* em cultivo protegido. **Fitopatologia Brasileira**, Fortaleza, DF, v. 27, p. 42-47, 2002.

MAY-DE MIO, L. L.; GHINI, R.; KIMATI, H. Solarização para controle de *Phytophthora parasitica* em mudas de citros. **Fitopatologia Brasileira**, Fortaleza, v. 27, n. 3, p. 254-258, 2002.

NUNES, M. E. T. Solarização do solo e seleção de microrganismos antagonistas para o controle de *Sclerotium cepivorum* Berk., agente causal da podridão branca da cebola (*Allium cepa* L.). 1992. 75 f. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", USP, Piracicaba.

PATRICIO, F. R. A.; ALMEIDA, I. M. G.; SANTOS, A. S.; CABRAL, O.; TESSARIOLI NETO, J.; SINIGAGLIA, C.; BERIAM, L. O. S.; RODRIGUES NETO, J. Avaliação da solarização do solo para o controle de *Ralstonia solanacearum*. **Fitopatologia Brasileira**, Fortaleza, v. 30, p. 475-481, 2005.

PATRICIO, F. R. A.; KIMATI, H.; TESSARIOLI NETO, J.; PETENATTI, A.; BARROS, B. C. Solarização do solo em casa-de-vegetação e campo para o controle de *Rhizoctonia solani* AG-4. **Summa Phytopathologica**, Botucatu, v. 33, p. 245-251, 2007.

PATRICIO, F. R. A.; SINIGAGLIA, C.; BARROS, B. C.; FREITAS, S. S.; TESSARIOLI NETO, J.; CANTARELLA, H.; GHINI, R. Solarization and fungicides for control of drop, bottom rot and weeds in lettuce. **Crop Protection**, Surrey, v. 25, p. 31-38, 2006.

RANDIG, O.; MEDEIROS, C. A. B.; SPERANDIO, C. A. Efeito da desinfestação do solo pelo uso de energia solar sobre fungos micorrízicos arbusculares. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 26, p. 135-140, 2002.

RICCI, M. S. F.; ALMEIDA, D. L.; FERNANDES, M. C. A.; RIBEIRO, R. L. D.; CANTANHEIDE, M. C. S. Efeitos da solarização do solo na densidade populacional da tiririca e na produtividade de hortaliças sob manejo orgânico. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, p. 2175-2179, 2000.

SINIGAGLIA, C.; PATRICIO, F. R. A.; GHINI, R.; MALAVOLTA, V. M. A.; TESSARIOLI, J.; FREITAS, S. dos S. Controle de *Sclerotinia minor*, *Rhizoctonia solani* e plantas daninhas em alface pela solarização do solo e sua integração com controle químico. **Summa Phytopathologica**, Jaboticabal, v. 27, n. 2, p. 229-235, 2001.

SOUZA, N. L. Solarização do solo. **Summa Phytopathologica**, Jaguariúna, v. 20, n. 1, p. 3-15, 1994.

TIBA, C.; GHINI, R. Numerical procedure for estimation temperature in solarized soils. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 41, n. 3, p. 533-537, 2006.

## Comunicado Técnico, 20



Ministério da  
Agricultura, Pecuária  
e Abastecimento



Exemplares desta edição podem ser adquiridos na:

**Embrapa Informação Tecnológica**  
Parque Estação Biológica (PqEB)  
Av. W3 Norte (Final)  
70770-901 Brasília, DF  
Fone: (61) 3340-9999  
Fax: (61) 3340-2753  
vendas@sct.embrapa.br  
www.sct.embrapa.br/liv

**Embrapa Meio Ambiente**  
Rodovia SP 340, Km 127,5  
Caixa Postal 69  
13820-000 Jaguariúna, SP  
Fone: (19) 3311-2700  
Fax: (19) 3311-2640

1ª edição  
1ª impressão (2009): 1.000 exemplares  
Produção editorial, impressão e acabamento  
**Embrapa Informação Tecnológica**

## Comitê de publicações

**Embrapa Meio Ambiente**  
Presidente: Ariovaldo Luchiani Junior  
Secretário-Executivo: Luiz Antonio Silveira Melo  
Secretário: Sandro Freitas Nunes  
Bibliotecária: Maria Amélia de Toledo Leme  
Membro Nato: Heloisa Ferreira Filizola  
Membros: Lauro Charlet Pereira, Lourival Costa Paraiba, Luiz Alexandre Nogueira de Sá, Maria Conceição Pessoa Young Pessoa, Nilce Chaves Gattaz, Vera Lúcia Scherholz Salgado de Castro

## Expediente

**Embrapa Informação Tecnológica**  
Coordenação editorial: Fernando do Amaral Pereira, Mayara Rosa Carneiro, Lucilene Maria de Andrade  
Supervisão editorial: Juliana Meirelles Fortaleza  
Revisão de texto: Corina Barra Soares  
Normalização bibliográfica: Márcia Maria Pereira de Souza  
Tratamento das ilustrações e editoração eletrônica: José Batista Dantas